



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **NOVÉ METODY DOKONČOVÁNÍ OZUBENÍ**

**NEW METHODS FOR GEAR FINISHING**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**ĽUDOVÍT HORVÁTH**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**ING. OSKAR ZEMČÍK, CSC.**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ľudovít Horváth

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Nové metody dokončování ozubení**

v anglickém jazyce:

### **New methods for gear finishing**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Rozdělení ozubených převodů a ozubení.
3. Technologie a metody dokončování jednotlivých ozubení.
4. Stručná charakteristika nových metod dokončování ozubení.
5. Porovnání jednotlivých metod.
6. Závěr a doporučení použití ve strojírenské praxi.

Cíle bakalářské práce:

Studie k moderním metodám dokončování ozubení s doporučením pro využití ve strojírenské praxi.

## Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2002. 153 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 198 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG, W. Fertigungsverfahren band 1, 2, 3, 4, 5, 6. 4. Aufl. Düsseldorf : VDI - Verlag GmbH, 1999. 416 s. ISBN 3-18-401054-6
4. Firemní podklady dle dalšího zpřesnění a určení (Sandvik Coromant, Gühring, Fette, Pramet, Mitsubishi, Iscar, Seco, apod ).
5. HÜGEL, H. Strahlwerkzeug Laser. Stuttgart : B. G. Taubner, 1992. 357 s. ISBN 3-519-06134-1
6. REICHARD, A. Fertigungstechnik 1, 2. 10. Aufl. Hamburg : Handwerk und technik, 1993. 420 s. ISBN 3-582-02311-7

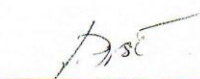
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

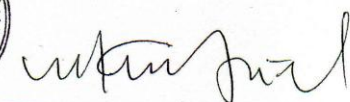
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.



  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

**ABSTRAKT**

V tejto bakalárskej práci popisujem dokončovanie ozubených kolies. Hlavnou témou tejto práce je rozbor jednotlivých princípov dokončovania ozubených kolies. Okrem iného je v práci uvedený popis strojov používaných pre dokončovacie operácie a popis nástrojov, ktoré sú potrebné pre dosiahnutie stanovených požiadaviek na ozubené kolesá.

**Kľúčové slová**

ozubené koleso, stroj, nástroj, ševingovanie, brúsenie, honovanie, lapovanie

**ABSTRACT**

In this bachelor's thesis are described new methods for gear finishing. The main theme of this work is an analysis of the principles of gear finishing. It is also at work description of the machines used for finishing operations and description of tools that are necessary for achieving the requirements of the gears.

**Key words**

gear, machines, tools, shaving, grinding, honing, lapping

**BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

HORVÁTH, Ľudovít. *Názov: Bakalárska práca*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s.46. Vedúci bakalárskej práce Ing. Oskar Zemčík, CSc

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na téma Nové metódy dokončovania ozubenia vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum 24.5.2011

.....  
Ľudovít Horváth

**PodĎakovanie**

Ďakujem týmto Ing. Oskarovi Zemčíkovi, CSc za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce.

**OBSAH**

Abstrakt.....	4
Prehlásenie.....	5
Podakovanie .....	6
Obsah.....	7
Úvod .....	8
1 Mechanické prevody .....	9
1.1.1 Prevody ozubenými kolesami .....	10
2 Dokončovacie metódy ozubenia .....	13
2.1 Ševingovanie .....	13
2.1.1 Základné spôsoby ševingovania.....	14
2.1.2 Ševingovací nástroj.....	15
2.1.3 Ševingovací stroj .....	16
2.2 Brúsenie .....	18
2.2.1 Brúsenie deliacim spôsobom tvarovými kotúčmi .....	18
2.2.2 Brúsenie deliacim spôsobom s odvalom boku zubu .....	20
2.2.3 Brúsenie kontinuálnym odvaľovacím spôsobom.....	24
2.2.4 Brúsenie do plna .....	28
2.2.5 Vysokovýkonné brúsenie .....	28
2.3 Lapovanie ozubených kolies .....	28
2.3.1 Princíp lapovania.....	29
2.3.2 Lapovacie stroje .....	29
2.4 Honovanie .....	31
2.4.1 Princíp honovania .....	31
2.4.2 Honovací nástroj.....	32
2.4.3 Honovacie stroje.....	34
2.5 Zabežovanie ozubenia.....	38
2.6 Zaošľovanie čiel zubov .....	38
3 Chladiace a mazacie systémy .....	39
4 Kontrola ozubenia.....	39
4.1 Základné spôsoby merania ozubenia .....	40
4.1.1 Meranie hrúbky zubu v konštantnej výške .....	40
4.1.2 Kontrola miery cez zuby .....	40
4.1.3 Kontrola obvodového hádzania .....	41
Záver .....	42
Zoznam použitých zdrojov .....	44
Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	46

## ÚVOD

Ozubené koleso patrí medzi základné ale zároveň najzložitejšie a technologicky najnáročnejšie súčasti v celej strojárkej praxi. Preto je v dnešnej dobe kladený veľký dôraz aj na presnosť jeho vyhotovenia. Na presnosti ozubeného kolesa sa okrem samotnej výroby podieľajú veľkou mierou aj dokončovacie operácie.

Z historického hľadiska patrí ozubené koleso medzi najstaršie súčiastky. Jeho prvé použitie sa datuje pravdepodobne už od staroveku. Vzniku ozubeného kolesa muselo predchádzať poznanie valca a kolesa, prostredníctvom ktorých ľudia premiestňovali ťažké predmety. Je dosť pravdepodobné, že sa ozubené koleso objavilo na viacerých miestach v odlišnom časovom období nezávisle na sebe.

Prvé ozubené kolesá boli používané v poľnohospodárstve a na čerpanie vody v závlahových systémoch. Ozubené kolesá boli taktiež používané na premiestňovanie rozmerných predmetov. V neskoršom období boli ozubené kolesá používané v mlynoch na prevod hnacej sily, získavanej prostredníctvom vody, na mlynské kamene. Ďalším významným posunom vo využití ozubených kolies a nárastu použitia boli hodiny. Prvé hodiny s kolesami sú známe z 12. storočia a boli inštalované na kostoloch. Od 14. storočia začalo strojárstvo významne ovplyvňovať stavebníctvo. Namiesto kladkostrojov boli používané šneky a šnekové ozubené kolesá. Do 15. storočia bolo ako materiál pre ozubené kolesá používané drevo alebo bronz, výnimočne liatina. Zuby mali zjednodušený trojuholníkový tvar alebo sa používali drevené kolíky. [19]



Obr.1 Drevené ozubené súkolesie [17]

Do dnešnej doby prešli ozubené kolesá obrovským vývojom. Prišlo k zmene tvarov a používaných materiálov. Rôzne typy ozubení môžeme vidieť v automobilovom, leteckom či lodnom priemysle, potravinárstve a ďalších odvetviach priemyslu. Veľké uplatnenie ozubených kolies v strojárstve a v každodennom použití viedlo k vzniku veľkého množstva spôsobov výroby ozubení. Spôsob výroby a použitá technológia sa volí na základe požiadaviek na presnosť ozubení.

Poslednou operáciou pri výrobe ozubených kolies, za predpokladu, že je potrebná, je dokončovanie. O dokončovacích metódach, strojoch a nástrojoch bude pojednávať táto bakalárska práca.



## 1 MECHANICKÉ PREVODY

Prevodový mechanizmus slúži na prenášanie a rozdeľovanie energie privádzanej z hnacieho stroja na pracovný stroj. Tvorí teda spojovací článok medzi časťami strojného mechanizmu. Hlavným dôvodom, pre ktoré sa prevody používajú ako spojovacie články v konštrukcii strojných zariadení je, že rýchlosti potrebné pre funkciu pracovného stroja a nástroja, prípadne automatizačného prvku, obyčajne nesúhlasia s rýchlosťami hnacieho stroja; obvykle majú hnacie stroje vyššie otáčkové frekvencie. Hnacie stroje sa väčšinou navrhujú pre rovnomerný rotačný pohyb, zatiaľ čo u pracovných strojov sa často vyžaduje regulácia rýchlosti a v súvislosti s tým i krútiaceho momentu (napr. obrábacie stroje, automobily). Inokedy je zasa potreba pre funkciu stroja previesť rotačný pohyb motoru na pohyb postupný alebo realizovať pohyby podľa dopredu daného zákona rýchlostných zmien. Konštruovanie hnacích motorov pre podobné požiadavky je väčšinou technicky náročné a ekonomicky nevýhodné. Takéto zariadenia bývajú rozmerovo veľké a majú nízku účinnosť.

Vo veľkom množstve prípadov, ako u dopravných strojov, napr. automobilov, sa v prevádzke mení nielen rýchlosť ale i smer pohybu. Pri stúpaní sa vyžaduje u hnacích kolies automobilu väčší krútiaci moment, ale pritom automobilový motor sám o sebe umožňuje len malú zmenu krútiaceho momentu i frekvencie otáčok. Mimo pomerne nízku pracovnú oblasť stráca motor svoje dobré vlastnosti a dokonca pri prekročení hranice prípustného rozsahu sa môže motor i zastaviť. Podobné problémy sa objavujú i u iných druhov motorov. V jednotlivých prípadoch bude teda dôležitou úlohou prevodu zladiť podmienky pre správnu funkciu motoru s podmienkami správnej činnosti pracovníka alebo výkonného mechanizmu.



Obr. 1.1 Prevodovka pre automobily [9]

Pri optimalizácii konštrukcií sa ukazuje ako výhodné popri mechanických prevodoch používať aj prevody elektrické, hydraulické, pneumatické a iné. V niektorých zariadeniach je účelné spájať mechanické prevody s inými druhmi prevodov tak, aby sa využili výhody jednotlivých typov (elektromechanické, hydromechanické a pod.).

Sila a pohyb sa môžu prenášať z hnacieho členu na hnaný člen trením (trecia väzba, s oneskorením), záberom zubov (tvárová väzba bez oneskorenia), elektricky, hydraulicky či pneumaticky. Prevody majú podľa svojho určenia buď stály alebo meniteľný prevodový pomer. Prevod sa mení buď stupňovito alebo plynule. Prevodovky s plynulo meniacimi sa prevodmi sa nazývajú variátory. Stupňovitá regulácia je však obyčajne ekonomicky výhodnejšia ako plynulá, prevody sú jednoduchšie a spoľahlivejšie. Na druhej strane však plynulá regulácia umožňuje napr. pri výrobnom procese dosahovať optimálnych pracovných parametrov, ovplyvňuje zvyšovanie produktivity, je vhodná pre riadenie strojov za pochodu a má vhodné vlastnosti pre automatizáciu. Ak sa spomaľuje prevod otáčkovej frekvencie, jedná sa o reduktory, zrýchľuje sa prevod otáčkovej frekvencie, jedná sa o multiplikátory. Pri jednej dvojici spoluzaberajúcich členov sa prevod nazýva jednoduchý, pri viacerých spoluzaberajúcich pároch sa jedná o prevod zložený. [1]

### **1.1.1 Prevody ozubenými kolesami**

Prevody ozubenými kolami slúžia k prenosu mechanickej energie a otáčavého pohybu medzi dvomi hriadeľmi, pričom je zachovaný konštantný pomer medzi ich uhlovými rýchlosťami. Najjednoduchšou formou tohto prevodu sú dve spoluzaberajúce ozubené kolesá. Ide o prevody s tvarovým stykom.

Výhody a nevýhody prevodov ozubenými kolami:

Výhody:

- relatívne malé rozmery
- dobrá spoľahlivosť a životnosť
- dobrá mechanická účinnosť
- presné dodržanie prevodového pomeru
- schopnosť prenosu veľkých výkonov
- schopnosť dosiahnutia vysokých prevodov
- malá náročnosť na údržbu
- krátkodobá preťaženosť

Nevýhody:

- zložitejšia a drahšia výroba
- vysoké nároky na presnosť a tuhosť uloženia
- hluk a chvenie

**Rozdelenie ozubených prevodov podľa čelnej profilovej krivky zubov kola s ozubením:**

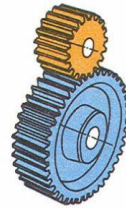
- evolventným
- cykloidným
- zvláštnym

**Rozdelenie ozubených prevodov podľa vzájomnej polohy ôs:**

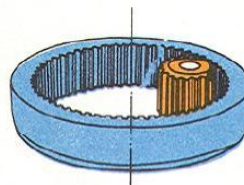
- s rovnobežnými osami
- s rôznobežnými osami
- s mimobežnými osami

**Rozdelenie ozubených prevodov podľa relatívneho pohybu základných telies:****1. valivé súkolesia**

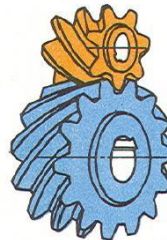
Obr. 1.2 čelné súkolesia s vonkajším ozubením [22]



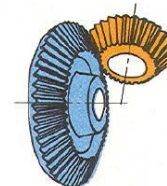
Obr. 1.3 čelné súkolesia s vnútorným ozubením [22]



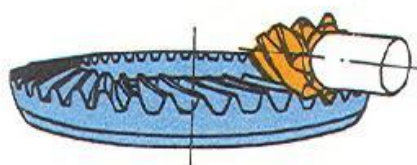
Obr. 1.4 čelné súkolesie so zakrivenými zubami [22]



Obr. 1.5 kuželové súkolesie s priamymi zubami [22]

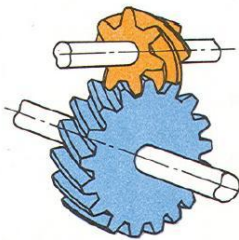


Obr. 1.6 kuželové súkolesie so zakrivenými zubami [22]

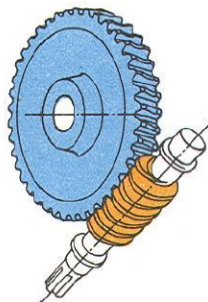


**2. skrutkové súkolesia**

Obr. 1.7 skrutkové súkolesie [22]

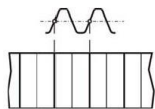


Obr. 1.8 šnekové súkolesie [22]

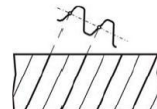


**Rozdelenie ozubených prevodov podľa tvaru bočnej čiar zubov kola so zubami:**

A. ozubenie s priamymi zubami



B. ozubenie so šikmými zubami



C. s dvojito šikmými zubami



D. so šípovými zubami



E. s dvojito šípovými zubami



F. so zakrivenými zubami



Obr. 1.9 Rozdelenie podľa tvaru bočnej čiar

## 2 DOKONČOVACIE METÓDY OZUBENIA

Aby sa zlepšila správna funkcia a predĺžila životnosť ozubenia, musia mať zuby ozubených kolies presný geometrický tvar a kvalitný povrch. Stopy po rezných nástrojoch, ktoré ostávajú na bokoch zubov, zvyšujú pri odvaľovaní kolies opotrebenie zubov, čím sa zhoršuje účinnosť prevodu a zvyšuje sa hlučnosť.

Dokončovacie spôsoby výroby ozubenia majú zlepšiť kvalitu povrchu zubov, dodržať presný evolventný tvar profilu zubu a odstrániť ostré hrany.

K dokončovacím spôsobom výroby ozubenia patrí najmä:

- ševingovanie
- brúsenie
- lapovanie
- honovanie
- zabehávanie

### 2.1 Ševingovanie

Ševingovanie je dokončovacia metóda, ktorá sa používa na odstraňovanie nerovností a nepravidelností po obrábaní ozubených kolies frézovaním alebo obrázaním. Táto metóda sa používa u ozubených kolies pred tepelným spracovaním. Je založená na princípe záberu dvoch ozubených kolies. Ševingovaním sa dokončuje presný evolventný profil zubov a zlepšuje sa kvalita povrchu bokov zubov. Ševingovanie sa používa hlavne v hromadnej výrobe. Najčastejšie sa ševingujú čelné ozubené kolesá s priamymi alebo šikmými zubami.

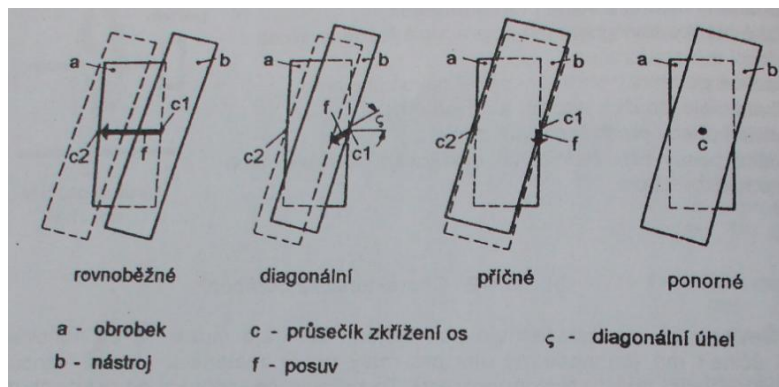
Na ševingovanie sa používa nástroj v tvare ozubeného kolesa so šikmými zubami, ktoré má po bokoch drážky. Drážkami sa na bokoch zubov vytvoria rezné hrany a priestor na odvádzanie triesok. Prídavok na ševingovanie býva 0,1 až 0,2 mm na bok zuba. Aby sa obrobili zuby po celej šírke, vykonáva dokončované koleso vratný posuvný pohyb v smere svojej osi. Ševingovacie koleso je poháňané a dokončované koleso je ním unášané. [4]

Tento spôsob dokončovania je veľmi rýchli, celý proces trvá 20 až 30 sekúnd. Obvodová rýchlosť je až 130 m/min. Koleso opracované ševingovaním nie je nutné po kalení brúsiť. To má výhodu v tom, že zakalená vrstva sa ďalším obrábaním neodstráni a preto majú kolesá lepšiu trvanlivosť. U niektorých stojov sa môžeme namiesto ozubeného kolesa stretnúť s ozubeným hrebenom, ktorý má zuby rovnako upravené ako ševingovacie koleso.

Všeobecne je možné ševingovanie používať pre moduly  $m_n = 1,5-6(8)$  a kolesá do priemeru približne 500mm. Počty zubov by mali byť pre ševingovanie vyššie ako 17. [2]

Od švingovania môžeme očakávať zlepšenie presnosti o jeden stupeň podľa ČSN-ISO voči opracovaniu pred švingovaním. Výsledná kvalita švingovanie je veľmi závislá na kvalite predchádzajúceho obrábania, hlavne na frézovaní alebo obrážaní.

### 2.1.1 Základné spôsoby švingovania



Obr. 2.1 Spôsoby švingovania [19]

Spôsoby švingovania je možné rozdeliť na spôsoby s pozdĺžnym pohybom a spôsoby bez pozdĺžneho pohybu. Medzi metódy s pozdĺžnou kinematikou patria *rovnobežné*, *diagonálne* a *priečne švingovanie* a medzi metódy bez priečnej kinematiky patrí *ponorné švingovanie*.

K týmto základným metódam môžeme počítať aj ich kombinácie, napr. sférické švingovanie.

Základne spôsoby švingovania sa môžu realizovať na univerzálnych strojoch. Obzvlášť výkonné stroje sú prispôsobené len na jeden spôsob švingovania.

#### Ravnobežné švingovanie

Tento spôsob je najstaršou metódou švingovania. Pri tejto metóde sa švingovacie kolo presúva paralelne s osou obrobku. Švingovacie kolo a obrobok sa k sebe približia o malú hodnotu radiálneho prísuvu na konci každého zdvihu. Tento postup sa opakuje, až dovtedy, pokiaľ nie je dosiahnutá požadovaná osová vzdialenosť. Popri radiálnom prísuve je možné v konečných zdvihových bodoch zmeniť smer otáčania a prípadne upraviť aj posuv a otáčky švingovacieho kola. Šírka obrábaného ozubeného kolesa a švingovacieho kolesa nie sú u rovnobežného švingovania na sebe závislé, môžu byť obrábané kolesá ľubovoľných šírok.

Body skríženia ležia vždy na rovnakom mieste švingovacieho kolesa, preto je v tomto mieste švingovacie koleso nadmerne a rýchlo opotrebené. Táto nevýhoda sa dá potlačiť krokováním na moderných švingovacích strojoch. [19]

**Diagonálne ševingovanie**

Priebeh pohybu diagonálneho ševingovania je podobný priebehu rovnobežného ševingovania. Pozdĺžny pohyb ale prebieha v príslušnej rovine pod diagonálnym uhlom  $\zeta$  od osy obrobku. Bod skríženia ôs pokračuje od začiatku do konca posuvu cez celú šírku ševingovacieho kolesa. To má vplyv na rovnomerné opotrebenie nástroja a zvýšenie jeho životnosti. Pri tejto metóde záleží na šírke ševingovacieho kolesa ohľadom k šírke obrobku a veľkosti skríženia ôs v porovnaní s veľkosťou diagonálneho uhla. [19]

**Priečne ševingovanie**

Pri tomto spôsobe je dokončované ozubené koleso obrobené pri jednom dvojzdvihu nástroja, ktorý sa pohybuje v pravouhlom smere k ose obrobku. Diagonálny uhol teda má  $90^\circ$ . Táto metóda je zo všetkých metód s pozdĺžnym pohybom najrýchlejšia. V dôsledku toho, že pozdĺžny pohyb prebieha kolmo na osu obrobku musí mať nástroj zvláštny tvar. Hlavne musí byť ševingovacie koleso širšie ako obrobok. [19]

**Ponorné ševingovanie**

Táto metóda je špecifická tým, že disponuje len hĺbkovým prísunom v radiálnom smere - ponorením. Kvôli chýbajúcemu pozdĺžny pohyb musí byť valivé teleso ševingovacieho kolesa vytvorené ako krivkové, aby bol zaistený kontakt po celej šírke obrobku. Ponorné ševingovanie je najčastejšie používaná metóda v hromadnej výrobe zo všetkých doteraz menovaných metód. To je výsledkom hlavne toho, že vďaka chýbajúcemu pozdĺžnemu pohybu dosahuje jednoznačne najkratšie obrábacie časy. Neúčast' pozdĺžneho pohybu dovoľuje navyše redukciu potrebných strojných ôs teoreticky na dve, pohybovú osu pre hĺbkový posuv a osu pre nastavenie uhlu skríženia ôs.

U tejto metódy, na rozdiel od rovnobežného a diagonálneho ševingovania, nie je možné použiť pre viac obrobkov jedno ševingovacie koleso, pretože drážkovanie ševingovacieho kolesa musí zodpovedať počtu zubov obrobku.

Malý počet osových pohybov zjednodušuje konštrukciu strojov a tým pádom umožňuje konštruovať stroje s vyššou tuhosťou. Toto sa prejavuje priaznivo na dosahovaní vyššej presnosti obrobkov. [19]

**2.1.2 Ševingovací nástroj**

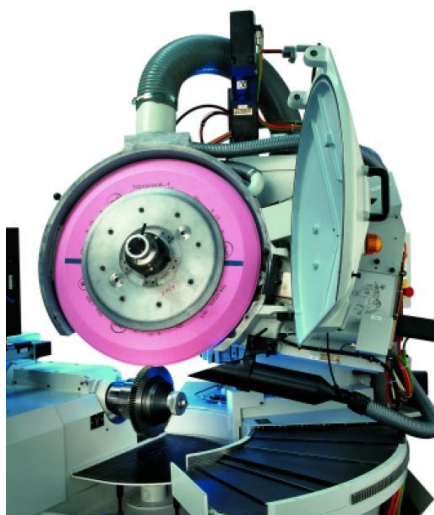
U tejto metódy má nástroj tvar ozubeného kolesa a je vyrobený z rýchlořeznej oceli. Konštrukcia ševingovacích nožov je podmienená riešením záberu ševingovacieho noža s obrobkom. Obecne je nutné pre každé koleso navrhnuť špeciálny ševingovací nástroj. Ako u všetkých nástrojoch ktoré odoberajú triesku, aj u ševingovacích kolies dochádza s rastúcim počtom obrobkov k opotrebeniu ostria. To sa prejavuje hlavne zhoršením geometrie ozubenia s ohľadom na profil a sklon zubov. Taktiež dochádza k nárastu

drsnosti povrchu obrábaných kolies. Ak dochádza k prekročeniu tolerancie súčasti, je potreba nástroj vymeniť alebo preostriť.



Obr. 2.2 Ševingovacie koleso [10]

Na trvanlivosť nástroja vplýva viacero faktorov, medzi ktoré patria materiál a štruktúra obrobku, veľkosť odberu materiálu, kvalitatívne požiadavky ale aj rezný olej, stabilita upnutia, ostrenie nástroja atď. Opotrebenie nástroja sa prejavuje zaoblením hrán, ktoré sa odstraňuje ostrením. Prídavok na ostrenie by mal byť menší než 0,03 až 0,04 mm na bok zubu. Ševingovací nástroj je tak možné viackrát ostriť a to väčšinou 15 až 20-krát. Toto sa prejaví priaznivo na nákladoch na opracovanie jedného obrobku.



Obr. 2.3 Stroj na ostrenie ševingovacích kolies SRC 410 CNC [15]

### 2.1.3 Ševingovací stroj

Gleason-HURTH ZS 300 je 5-osé prevedenie univerzálneho ševingovacieho stroja pre obrábanie ozubených kolies do priemeru 280 mm.



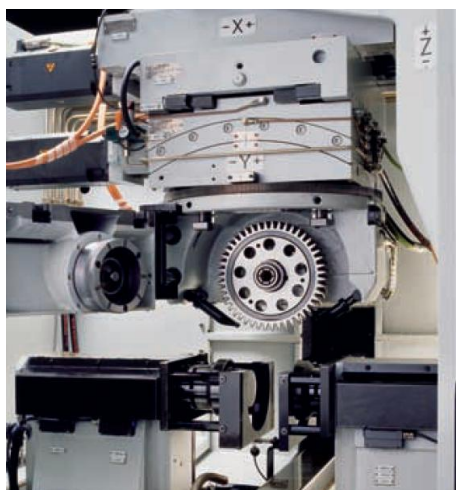
Koncepcia stroja je orientovaná na sériovú výrobu a krátky čas pre vkladanie a vykladanie obrobku.

Stroj sa skladá podľa stavebnicového princípu z jednotlivých uzlov. Tým pádom je možné popri konštrukcie strojov pre rôzne metódy ševingovania, obrábať súčiastky rôznych tvarov a rozmerov vďaka predĺženiu lože alebo zvýšeniu stojana. Dynamicky a staticky tuhá a tepelne optimalizovaná konštrukcia stroja je hlavným predpokladom k dosahovaniu vysokej kvality výroby.



Obr. 2.4 Ševingovací stroj Gleason-HURTH ZS 300 [15]

Inak nie je možné trvale zabezpečiť pre sériovú výrobu opakovateľnú kvalitu ozubenía a rozmerovú stálosť. To platí predovšetkým pre ponorné ševingovanie, kde z dôvodu čiarového dotyku vznikajú na stroj veľké reakčné sily. Preto sú klzné vedenia kalené. [19]



Obr. 2.5 Pracovný priestor stroja Gleason-HURTH ZS 300 [15]

## 2.2 Brúsenie

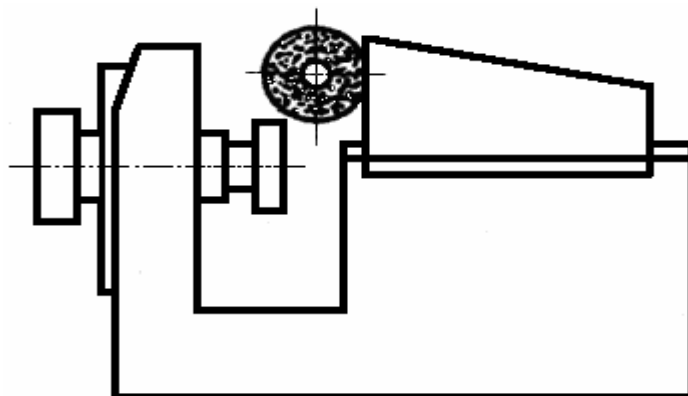
Brúsenie je najspoľahlivejší spôsob, ktorým možno dosiahnuť vysokú presnosť kalených ozubených kolies. Brúsením sa opravia chyby, ktoré vznikli predchádzajúcim obrábaním a deformáciou materiálu pri tepelnom spracovaní. Veľký vplyv na výslednú kvalitu brúsenia však má aj kvalita a presnosť predchádzajúceho obrábania.

### 2.2.1 Brúsenie deliacim spôsobom tvarovými kotúčmi

Na brúsenie deliacim spôsobom sa používajú jeden alebo dva kotúče. Podľa toho či brúsime jedným alebo dvomi kotúčmi má kotúč tvar buď celej zubovej medzery alebo len jedného boka zuba. Brúsny kotúč vykonáva vratný pohyb v smere osy kola a odoberá materiál na oboch bokoch zuba alebo len na jednom boku zuba. Obrobok je upnutý v deliacom zariadení horizontálne medzi hroty. Po vykonaní jedného spätného zdvihu kotúča sa obrobok upnutý v deliacom zariadení pootočí o jeden zub. Pre zachovanie presného rozmeru brúsiaceho kotúča je kotúč počas práce orovnávaný špeciálnym diamantovým orovnávačom. Z dôvodu veľkej plochy kontaktu brúsiaceho kotúča s obrobkom je nutné používať pri brúsení chladiacu kvapalinu. Chladiaca kvapalina má za úlohu odvádzať teplo, ktoré vzniká pri brúsení. Kvapalina je väčšinou vstrekovávaná priamo do brúsiaceho kontaktu prostredníctvom trysky, ktorá má tvar prispôbený veľkosti obrobku. Výkonnosť tejto metódy sa dá zvýšiť upnutím niekoľkých ozubených kolies na jeden upínací trň naraz. Táto metóda je veľmi výkonná, avšak na úkor presnosti, ktorá závisí aj od profilu brúsiaceho kotúča. [5]

#### Stroje na brúsenie deliacim spôsobom tvarovými kotúčmi

Medzi stroje pracujúce tvarovým nástrojom patria aj tvarové brúsky na ozubenie, tzv. brúsky typu **Orcut**, ktoré sú vhodné na brúsenie vonkajšieho i vnútorného čelného ozubenía s priamymi zubami. Priemer tvarového brúsneho kotúča je 250 až 300 mm.

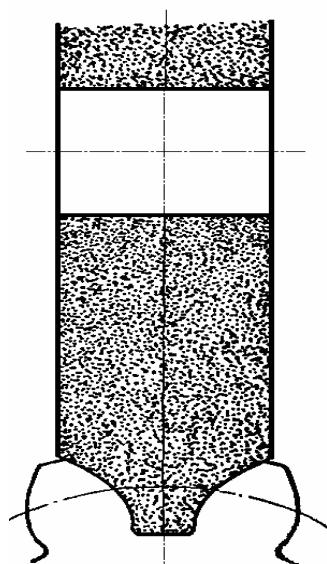


Obr. 2.6 Tvarová brúška typu Orcut [5]

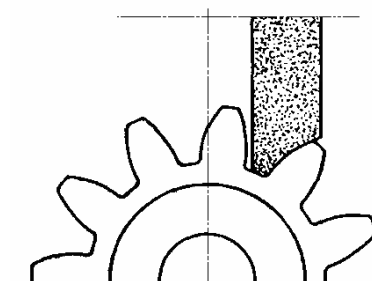
Podľa spôsobu brúsenia protiľahlých bokov zubov v jednej zubovej medzere, rozoznávame dva základné systémy brúsenia na tvarových brúskach – systém **Minerva** a **Sfedr**.

U systému Minerva sa brúšia oba boky zubov naraz jedným brúsnym kotúčom, ktorého povrch má tvar zubovej medzery. Produktivnosť systému je veľmi vysoká (opracovanie jednej zubovej medzery trvá približne 20 až 45 sekúnd). Ak sa týmto systémom brúšia ozubené kolesá s malým počtom zubov, tak sa brúsny kotúč nachádza v nevhodnej polohe voči bokom zubov ozubeného kolesa, čo má za následok ťažkosti pri odstraňovaní brúsneho prachu z blízkosti päty ozubeného kolesa. Toto zanášanie má za následok zvyšovanie tlaku medzi ozubeným kolesom a brúsiacim kotúčom (brúsny kotúč "páli"). Ďalšou nevýhodou je relatívne veľký rozdiel obvodových rýchlostí brúsneho kotúča v miestach zodpovedajúcich hlavovej a pätnjej kružnici brúseného ozubeného kolesa, dôsledkom čoho vzniká nerovnomerné opotrebenie kotúča, ktoré sa prejaví na nepresnom tvare obrúsených zubových bokov (presnosť profilu je asi 10 až 15  $\mu\text{m}$ ).

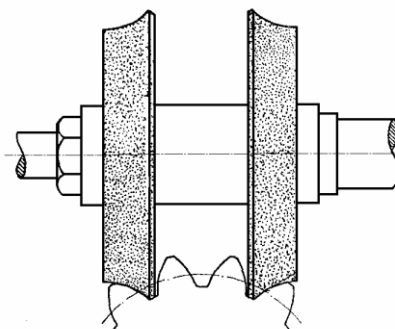
U systémom Sfedr sa brúsi iba jeden bok zuba jedným brúsnym kotúčom, ktorý je sklonený k zubu ozubeného kolesa približne o uhol  $45^\circ$ . Poloha brúsneho kotúča je priaznivejšia, rozdiel obvodových rýchlostí menší a opotrebenie jeho činných častí rovnomernejšie. Pri tomto systéme je možné brúsiť aj boky predrezaných zubov, čo u systému Minerva nie je možné. Použitím systému Sfedr je možné dosiahnuť vyšší stupeň ozubenía, ale na úkor nižšieho výkonu, ktorý dosahuje asi polovičnej hodnoty ako u systému minerva. K zvýšeniu výkonu sa používajú dva brúsne kotúče, ktoré pracujú súčasne - tzv. Hamrova metóda. Hamrovou metódou sa dá brúsiť ozubenie i na bežných rovinných brúskach s vodorovnou osou vretena. Uhol  $\alpha$  môže byť maximálne  $45^\circ$ .



Obr 2.7 Systém Minerva [5]



Obr. 2.8 Systém Sfedr [5]



Obr. 2.9 Hamerova metoda [5]

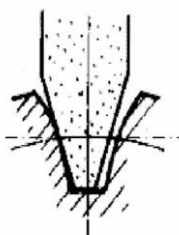
### 2.2.2 Brúsenie deliacim spôsobom s odvalom boku zuba

Je spôsob brúsenia, pri ktorom brúsime čelné ozubené koleso buď jedným - systém Niles, alebo dvomi brúsnymi kotúčmi - systém Maag, ktoré tvarom odpovedajú ozubenému hrebeňu.

#### Systém Niles

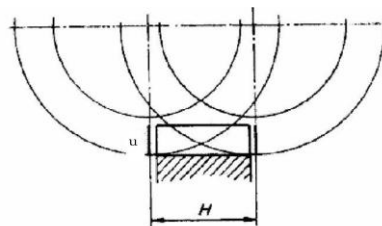
Na brúskach typu Niles sa brúsi lichobežníkovým profilom činnej časti brúsneho kotúča, ktorý zodpovedá príslušnému zúženému profilu (obr. 4.6). Dotyk brúsneho kotúča s bokom brúseného zuba je bodový, pričom tento bod sa pri odvaľovaní postupne premiestňuje po úsečke  $u$  (obr. 4.7), z čoho vyplýva malá potrebná dráha nástroja  $H$  pre rovnocenné prebrúsenie celej plochy zuba. Odvaľovací pohyb vykonáva obrobok (pootočeniu a posunutie) po vykonaní každého dvojzdvihu nástroja. U tejto metódy sa brúsi každý zubový bok zvlášť, ide teda o deliaci spôsob. [5]

Odvaľovanie je realizované ozubeným prevodom. Po obrúsení jednej zubovej medzery sa pootočí obrobok deliacim prístrojom na ďalší zub. Na strojoch typu Niles je možné brúsiť aj kolesá so šikmými zubami. Dosiahnuteľná presnosť je veľká; brúsenie jedného zuba s modulom 4 vyžaduje 2 až 3 minúty. K nevýhodám tejto metódy patrí pomerne veľká styková plocha medzi brúsnym kotúčom a bokom zuba. Z tohto dôvodu sa pri brúsení systémom Niles používa chladiaca kvapalina. Stroje sa vyrábajú buď v zvislom alebo vo vodorovnom vyhotovení. [5]



Princíp NILES

Obr. 2.10 princíp niles [5]



Výbeh nástroja na brúskach Niles

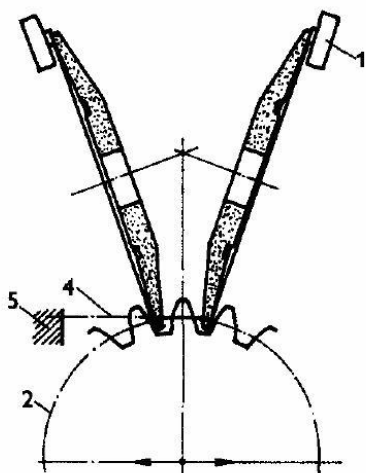
Obr. 2.11 výbeh nástroja niles [5]

### Systém Maag

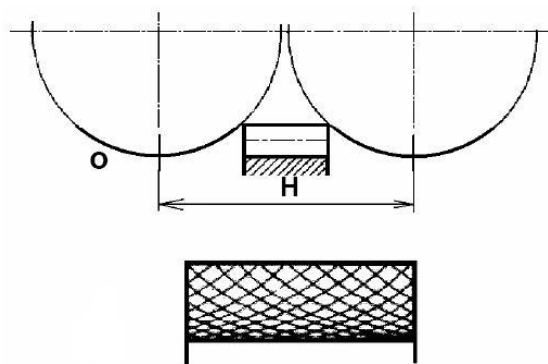
Brúsiace stroje typu Maag brúšia ozubené kolesá prostredníctvom dvoch tenkostenných tanierových brúsiacich kotúčov, ktoré môžu byť rovnobežná alebo sú navzájom sklonené pod uhlom  $2\alpha$ .

Ak sú brúsiace kotúče navzájom sklonené (obr. 4.8) hovoríme o tzv. **20- alebo 15-stupňovom spôsobe**. V tomto prípade je veľkosť naklonenia kotúčov rovná dvojnásobku uhla záberu  $2\alpha$  ( $\alpha = 20^\circ$  alebo  $15^\circ$ ) a predstavuje základný profil, ktorého rozstupová (valivá) priamka 4 sa odvaľuje po rozstupovej (valivej) kružnici 2 brúseného ozubeného kolesa. Tento spôsob brúsenia má dva body dotyku medzi brúsnym kotúčom a bokom zuba brúseného ozubeného kolesa, ktoré sa neustále posúvajú po oblúku o (obr. 4.9), z čoho vyplýva relatívne veľká potrebná dráha nástroja H pre rovnocenné prebrúsenie celej plochy zuba. V tomto prípade hovoríme, že kotúče brúšia hranou a zanechávajú na boku zuba tzv. krížový výbrus. Posuv nástroja v zubovej medzere je v porovnaní s rýchlosťou odvalu pomalý.

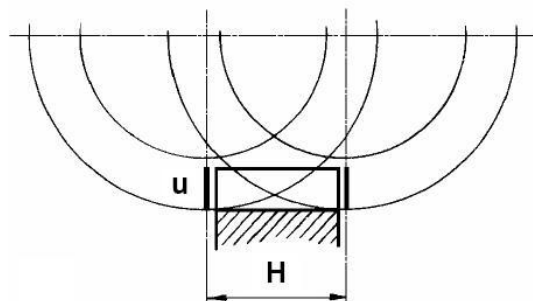
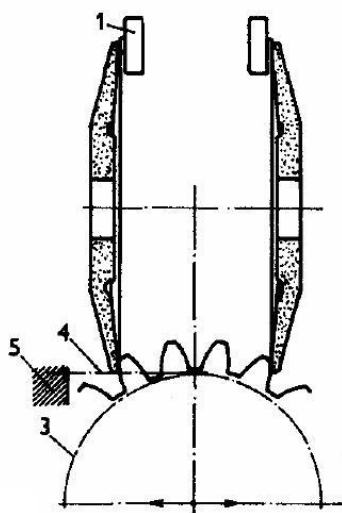
V prípade, že sú brúsne kotúče vzájomne rovnobežné (zvierajú nulový uhol), hovoríme o tzv. **nulovom spôsobe** (obr. 4.10). Odvaľovanie rozstupovej priamky 2 nástroja prebieha po základnej kružnici 3 obrábaného ozubeného kolesa, potrebná dráha odvalu je teda kratšia. U tohto spôsobu brúsenia je styk brúsneho kotúča s bokom brúseného zuba je bodový, pričom tento bod sa pri odvaľovaní postupne premiestňuje po úsečke u, z čoho vyplýva malá potrebná dráha nástroja H pre rovnocenné prebrúsenie celej plochy zuba. (obr. 4.11). [5]



Obr. 2.12 sklonené kotúče [5]



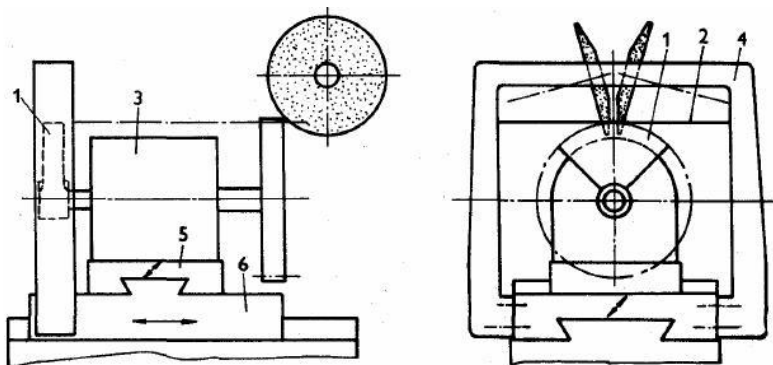
Obr. 2.13 princíp brúsenia [5]



Obr. 2.14 rovnobežné kotúče [5]    Obr. 2.15 princíp brúsenia [5]

### Stroje na brúsenie systémom Maag

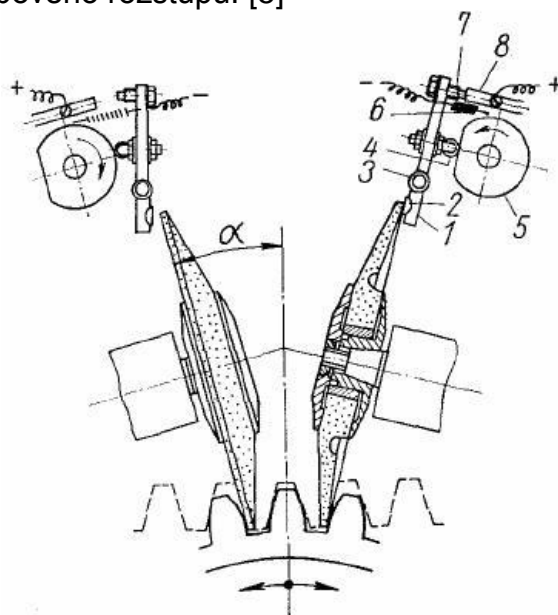
Pracovný princíp je schematicky znázornený na obr. 28. Vodorovné vreteno s obrobkom upnutým na tŕni je uložené na supte vykonávajúcom pozdĺžny a priečny pohyb. Odvaľovací pohyb je zaistený odvaľovaním segmentu 1 po pásoch 2 upevnených jedným koncom na segmente a druhým na ráme 4 pozdĺžnych saní 6 pri priečnom pohybe priečných saní 5 suptu v oboch zmysloch. Pozdĺžny priamočiary vratný pohyb suptu je pracovný a jeho zdvih je určený šírkou ozubeného kolesa. Deliaca hlava 3 pootáča obrobkom vždy o jeden rozstup pred brúsením ďalšej zubovej medzery. [5]



Obr. 2.16 princíp činnosti odvaľovacích brúsok Maag [5]

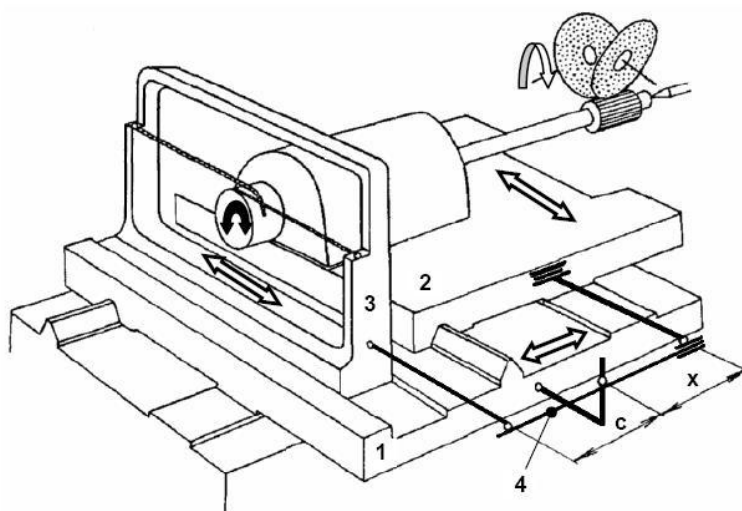
Výhodou brúsok typu Maag je ich kinematická jednoduchosť a vysoká presnosť. Nevýhodou je nižší rezný výkon, pretože tenkostenné kotúče sú málo tuhé a dovoľujú iba malý možný úber materiálu. Ďalšou nevýhodou je rýchle opotrebenie brúsnych kotúčov (činná časť je cca 2 mm široká) a nutnosť nepretržitého orovnávania brúsnych kotúčov (s presnosťou 0,001 až 0,002 mm) a udržiavania ich konštantnej vzájomnej polohy servomechanizmom. [5]

Stroje sú preto vybavené zariadením, ktoré automaticky orovnáva diamantovým hrotom činnú časť kotúča na potrebný rozmer s presnosťou 0,001 až 0,002 mm. Princíp tohto vyrovnávacieho zariadenia je znázornený na obr. 3.13. Páčka 1 má na jednom konci diamantovú doštičku 2 a je otočná okolo čapu 3. Kladka 4 je neustále v dotyku so zrezaným kotúčom 5, ktorý sa stále pomaly otáča tak, že páčka 1 sa vždy vychýľuje za 1,5 až 5 sekúnd. Stály dotyk kladky 4 s kotúčom 5 zaisťuje pružina 6. Na vonkajšom konci páčky 1 je regulačný kontakt 7, ktorý pri opotrebení pracovnej časti kotúča dosadne na narážku 8 a uvedie do činnosti servomechanizmus, ktorý posunie vreteno brúsneho kotúča smerom k diamantu. Týmto neustálym orovnávaním kotúčov je možné dosiahnuť dokonale presnú polohu brúsnych hrán a teda i presnú veľkosť zubového rozstupu. [5]



Obr. 2.17 orovnávanie brúsnych kotúčov na brúskach Maag [5]

Vo vyššie opísanom základnom kinematickom princípe brúsok typu Maag je pre každú veľkosť polomeru valivej kružnice obrobku potrebný zvláštny odvaľovací segment, čo nie je pre užívateľa pohodlné. Aby bolo možné pomocou jedného odvaľovacieho segmentu brúsiť ozubené kolesá s rôznymi polomermi valivých kružníc, boli brúsky typu Maag vylepšené, a to tak, že na pozdĺžnych saniach 1 suportu sú uložené dvojce priečne sane 2 a 3 (obr. 3.14). Sane 2 vykonávajú základný priečny posuv a sane 3 vykonávajú vynútený priečny pohyb, odvodený od pohybu saní 2 cez pákový prevod 4. Páka 4 je dvojramenná, pričom rameno c má konštantnú dĺžku a dĺžka ramena x sa dá nastaviť tak, aby výsledný odvaľovací pohyb obrobku zodpovedal odvaľovaniu jeho valivej kružnice po valivej priamke základného hrebeňa, ktorý predstavujú brúsne kotúče. [5]



Obr. 2.18 upravená kinematika brúsok tipu Maag [5]

### 2.2.3 Brúsenie kontinuálnym odvaľovacím spôsobom

Kontinuálne odvaľovacie brúsenie ozubených kolies je najproduktívnejší spôsob brúsenia. Používa sa v sériovej a hromadnej výrobe.

Princíp činnosti odvaľovacích brúsok je zhodný s princípom odvaľovacích frézovačiek, pričom odvaľovacia fréza je nahradená jednoduchým alebo dvojchodým brúsiacim šnekom s veľkým priemerom. Podobnej konštrukcie sú aj brúsky typu Liebherr, na ktorých má ale nástroj tvar globoidnej závitovky.

Brúsiaci kotúč je naklonený o uhol stúpania závitovky nástroja, zväčšený o hodnotu sklonu zubu obrábaného ozubeného kola. Veľmi dôležité u tejto metódy dokončovania ozubených kolies je zosúladenie chodu brúsneho kotúča a obrábaného ozubeného kola. Ich pohyb a rotácia musia byť celkom synchronne. Výhodou tejto metódy je vysoká produktivita. U malých modulov, menších než 3mm, je možné brúsiť do plného materiálu. Brúsiaci kotúč, ktorý sa obyčajne dodáva s priemerom 300 až 400 mm, je treba pravidelne orovnávať a zaistiť jeho statické a dynamické vyváženie.

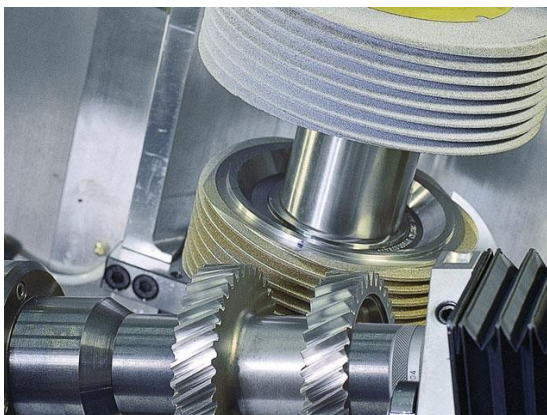
#### Nástroj na kontinuálne odvaľovacie brúsenie

Brúsiaci kotúč má v tomto prípade tvar šneku s profilom ozubeného hrebeňa. Geometria brúsiaceho šneku je v podstate určená tvarom obrábaného ozubeného kola. Za nezávislé je naopak možné považovať počet chodov šneku a jeho priemer. U kontinuálneho odvaľovacieho brúsenia je možné zmeniť počet dotykových bodov a to prostredníctvom nepatrnej zmeny výšky hlavy zubu, uhlu záberu a modulu. Toto je veľmi dôležité pre rovnomerné silové zaťaženie a pre kvalitu brúseného ozubení.

Z väčšieho priemeru vyplýva väčší obvod brúsiaceho kotúča, čo je výhodné z dôvodu záberu väčšieho množstva brúsiacich zrn počas jednej otáčky nástroja. Negatívnym javom je väčšia dĺžka záberu, čo vedie



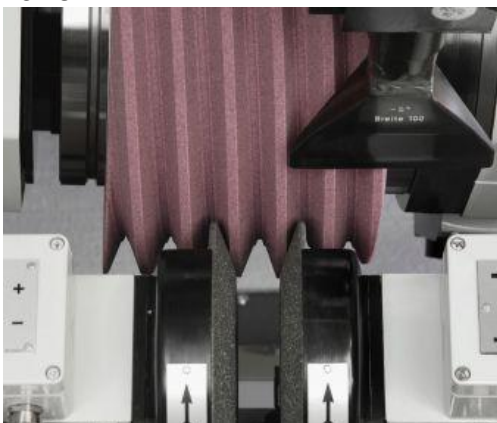
k produkovaní vyšší kontaktnej teploty. S priemerom rastie nadmerne aj dynamická nevyváženost' brúsiaceho kotúča.



Obr. 2.19 Brúsiaci šnek [10]

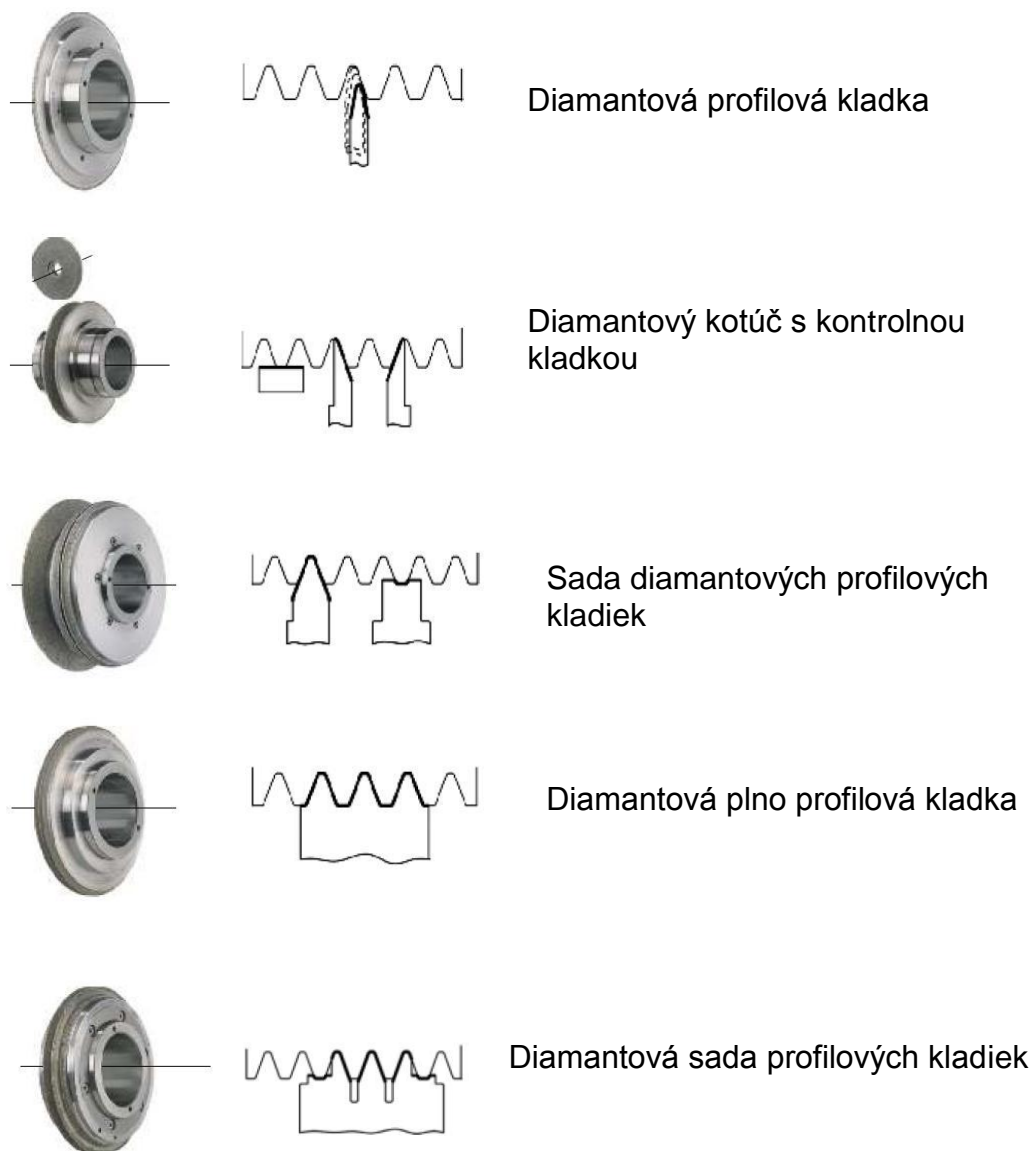
### Orovnávacie nástroje

Brúsiace kotúče sú obvykle dodávané výrobcom s predbežne prevedeným profilom. Z tohto dôvodu je nutné každý brúsny kotúč pred prvým použitím upraviť presne na rozmerové požiadavky obrobku. Na orovnávanie sa používajú CNC riadené orovnávacie a profilovacie stroje s hrubozrnnými diamantovými kladkami. Niektoré moderné brúsiace stroje majú orovnávacie zariadenie zabudované.



Obr. 2.20 orovnávanie brúsneho kotúča diamantovými kladkami [7]

Brúsiaci šnek je po predbežnom profilovaní vyvážený spolu s upínacou prírubou a pripravený tak k použitiu. Kotúč je potom na stroji orovnaný jedným z používaných diamantových orovnávacích nástrojov. Otáčky orovnávaného šneku musia byť pritom zladené s axiálnym posunovým pohybom orovnávacieho nástroja, ktorého axiálne stúpanie odpovedá vyrábanému šneku. Pretože musí byť každý chod orovnávaný postupne, zvyšuje sa pri viacchodových kotúčoch podstatne čas potrebný na orovnanie. V tomto prípade je potrebné dať pozor na to, aby medzi jednotlivými chodmi neboli vytvorené odchýlky v rozteči.



Obr. 2.21 Orovnávacie nástroje firmy Reishauer [7]

Celkom nezávisle na počte orovnávajúcich chodov naopak pracuje orovnávacie ozubené koleso. Orovnávacie koleso nemusí celkom odpovedať geometrii obrábanej súčasti, musí mať rovnaký len základný profil.

#### Odval'ovacie brúsky firmy Reishauer

Firma Reishauer dokázala novou radou strojov s označením RZ podstatne skrátiť nie len čas potrebný na obrábanie, ale aj čas vedľajší. K úspore času prispelo najmä elektronické valivé spojenie, rýchlovýmenné profilovacie stroje a rýchlopínacie príruby pre výmenu brúsiacich šnekov. To sa odzrkadlilo pozitívne aj na finančných nákladoch na opracovanie jedného obrobku. Nové stroje označované RZ sa rovnako ako predchádzajúce typy

vyznačujú tým, že sú koncipované ako stroje s orovnávatelnými brúsiacimi šnekmi a sú teda vhodné ako pre sériovú výrobu, tak aj pre kusovú.

Najmodernejší a zároveň najvýkonnejší vývojový stupeň strojov Reishauer predstavuje brúska RZ 150.



Obr. 2.22 Brúska firmy Reishauer RZ 150 [7]

Tento stroj je charakteristicky hlavne svojim otočným podporným ramenom, nazývaným viacvretenový modul. Viacvretenový modul umožňuje otáčanie o  $180^\circ$  a tým umiestňuje jednotlivé vretená do pracovných polôh. Pred posunutím nového obrobku centruje špeciálna sonda pozíciu zubov ozubeného kola voči pozícii brúsiaceho šneku.



Obr. 2.23 Pracovný priestor stroja Reishauer RZ 150 [7]

Ak je nutné brúsiaci šnek orovnať, posunie viacvretenový modul do pracovnej polohy orovnávací prípravok. Výhodou brúsiacich strojov firmy Reishauer je rovnomerné zaťaženie pohonu obrobku. Ak existuje vysokofrekvenčné ale rovnomerné kolísanie záťaže, prísuvný modul vyhodnotí odchýlky pomocou elektronického zariadenia a kompenzuje ich tým, že načíta radu odchýlok a tie potom redukuje na stredné hodnoty.

Veľmi dôležitou podmienkou pre nové stroje Reishauer bola spoľahlivosť procesu a jeho vyššia výkonnosť. Toto bolo okrem iného dosiahnuté viacchodým brúsením a vyššou obvodovou rýchlosťou brúsiaceho kotúča, čo znižuje rezné sily a zlepšuje záberové podmienky medzi šnekom a obrobkom.

#### **2.2.4 Brúsenie do plna**

Túto metódu môžeme zaradiť medzi špecifické brúsiace metódy. Pri brúsení do plna je používaný ako nástroj brúsiaci kotúč, ktorý má tvar zubovej medzery. U brúsenia do plna dochádza k vytváraniu zubov ozubeného kola len za použitia brúsiaceho kotúča, ktorým brúsime do plného materiálu. K vytváraniu zubov dochádza postupne po celom obvode obrobku, kedy brúsiaci kotúč postupne odoberá materiál. Obrobok sa otočí okolo svojej osy, následne prichádza k posunutiu brúsiaceho kotúča o stanovenú hĺbku a proces sa opakuje. Medzi výhody tejto metódy patrí vysoká rýchlosť obrábania, ktorá dosahuje až 100 m/s. Podobnou technológiou je aj odvaľovacie brúsenie od plna.

#### **2.2.5 Vysokovýkonné brúsenie**

Stále rastúce požiadavky na skrátenie pracovného času nútia výrobcov strojov na obrábanie ozubenia zvyšovať produktivitu práce.

Princípom vysoko výkonnej technológie je realizácia obrábania na jeden rez vysokou reznou rýchlosťou a súčasne tiež vysokým rezným posuvom. Ako minimálne rýchlosti pripadajú do úvahy 20 m/min pre posuv a 300 m/s pre rezanie.

Pre keramicky pojené CBN brúsiace kotúče je obmedzenie dané reznou rýchlosťou od 200 m/s. Vysokovýkonné brúsenie galvanicky pojeným CBN brúsiacim kotúčom umožní odber materiálu strojnásobiť.

Preto aby bol docielený požadovaný efekt práce je potrebné okrem zvýšenia obvodovej rýchlosti prispôsobiť aj ostatné parametre. Jedným z týchto parametrov je vhodný systém chladenia, vrátane vhodne olohovaných trysiek pre chladenie a čistenie. [12]

### **2.3 Lapovanie ozubených kolies**

Lapovanie je spôsob dokončovania ozubených kolies, ktorým sa odstraňujú nepresnosti ozubenia, zlepšuje sa drsnosť povrchu bokov zubov a urýchľuje sa ich zabehávanie. Tento spôsob dokončovania ozubenia sa používa u kalených ozubených kolies. Nástrojom je presne zhotovené ozubené koleso z jemnozrnnej liatiny, ktoré sa v zábere otáča s obrábaným kolesom. Na nástroj sa nanáša brusivo vo forme jemného prášku elektrokorundu (zrornosť 200 a 250) v neutrálnom alebo aktívnom mazive (chemické pasty). Lapovanie prebieha na lapovacích strojoch. Niektoré lapovacie stroje pracujú s jedným nástrojom a niektoré pracujú s tromi nástrojmi.

### 2.3.1 Princíp lapovania

Medzi zubami nástroja a obrábaného kolesa vzniká tlak, ktorý má za následok, že sa brúsne zrná zatláčajú do mäkšieho povrchu nástroja a z povrchu obrobku odoberajú jemné triesky. Pri použití chemicky aktívnych lapovacích pást dochádza okrem mechanického odoberania materiálu k chemickému rozrušeniu povrchovej vrstvy, čo môže až päťnásobne urýchliť prácu. K eliminácii nerovnomerného opotrebenia nástroja a k vytvoreniu rovnomerne opracovaného povrchu zuba sa používajú vzájomné pohyby medzi nástrojom a obrobkom. K týmto pohybom patrí otáčavý, oscilačný v smere osi a pohyb radiálny, pri ktorom dochádza k vzájomnému približovaniu a oddiaľovaniu ôs nástroja a obrobku. Aby sa vyhladili obidva boky zubu rovnako, pristupuje sa pri obrábaní k zmene smeru otáčania obrobku a ozubeného kolesa.

Nepresnosti profilu sa zmenšia na 5 až 10  $\mu\text{m}$ , rozstup na 7,5 až 10  $\mu\text{m}$ , hádzanie rozstupovej kružnice na 10 až 30  $\mu\text{m}$ . Prídavok na lapovanie nemá byť väčší ako 0,03 až 0,04 mm a proces vyžaduje 2 až 4 minúty. Hladkosť povrchu je veľmi vysoká a chyby predchádzajúceho obrobenia sa značne zmenšia. [6]

### 2.3.2 Lapovacie stroje

Stroj sa skladá z dvoch hlavných častí:

- z mechanizmu pre otáčanie obrobku,
- z mechanizmu pre vratný osový pohyb obrobku.

U tohto systému dokončovania je obrobok poháňaný a nástroj brzdený. Niektoré stroje majú mechanizmy pre prídavné pohyby obrobku vzhľadom k nástroju (napr. radiálne kývanie obrobku a pod.)



Obr. 2.24 Lapovanie ozubeného kolesa [23]

Lapovacie stroje sa vyrábajú v dvoch základných vyhotoveniach:

- stroje, pracujúce spôsobom skrížených osí nástroja a obrobku.
- stroje, pracujúce spôsobom rovnobežných osí.

Stroje prvej skupiny majú väčšiu výrobnosť a presnosť a to vplyvom väčšieho klzania zaberajúcich zubov a rovnomernejšieho rozloženia klzania po bočnej ploche zuba ako pri rovnobežných osiach, kde v niektorých miestach klzanie vôbec nevzniká. [6]

### Lapovací stroj firmy Gleason

Stroj Gleason 600 HTL TURBO LAPPER je moderný lapovací stroj na lapovanie kužeľových ozubených kolies. Tento stroj je veľmi rýchly a flexibilný. Maximálny priemer obrobku je 600mm. Pracuje s krátkym obrábacím časom, má efektívny a výkonný softvér a robustný a variabilný manipulačný systém.



Obr. 2.25 Lapovací stroj firmy Gleason 600 HTL TURBO LAPPER [15]

## 2.4 Honovanie

### 2.4.1 Princíp honovania

Honovanie pracuje na rovnakom princípe ako ševingovanie. Táto metóda sa používa výhradne u kalených ozubených kolies a niekedy sa označuje aj ako „brúsiace ševingovanie“.

Honovanie slúži na odstránenie malých nepresností vzniknutých pri tepelnom spracovaní, na zlepšenie tvaru zubu, zníženie drsnosti funkčných plôch a odstránenie menších poškodení ktoré vznikli na zuboch pri manipulácii. Honovanie sa používa taktiež na zníženie hlučnosti ozubených kolies v prevodovkách.

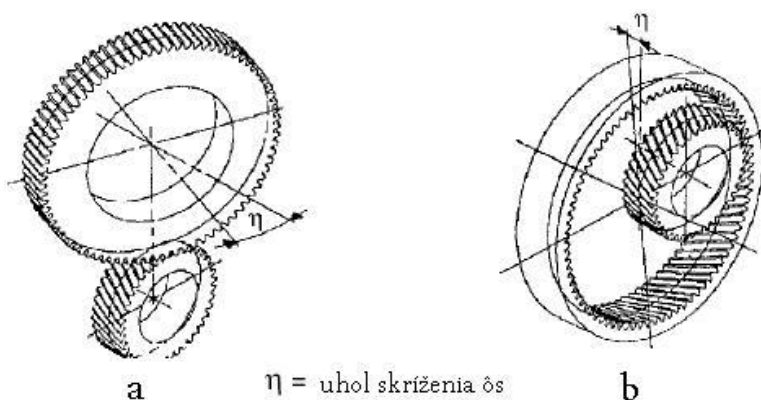
Medzi charakteristické znaky honovania patrí nízka rezná rýchlosť v oblasti  $0,3$  až  $10 \text{ m.s}^{-1}$  ktorá vykazuje jednu zložku v smere zubu a jednu tečnú v smere evolventy. Týmto vznikajú na boku zubu stopy po obrábaní, ktoré vytvárajú charakteristickú štruktúru povrchu pre túto metódu. Vďaka nízkym rýchlostiam obrábania nedochádza k tepelnému ovplyvneniu povrchovej vrstvy obrábaného kola.

Honovanie väčšinou nasleduje po brúsení ozubení ale je ním možné aj celkom nahradiť ševingovanie a následné brúsenie - výkonné honovanie.

Brúsenie a ševingovanie je možné nahradiť výkonným honovaním, za predpokladu, že máme k dispozícii všetky dostupné stroje a nástroje vhodné na vytváranie potrebného profilu boku zubu a stanovenej štruktúry povrchu po frézovaní a kalení. Tieto stroje a nástroje sa vyznačujú vysokou statickou a dynamickou tuhosťou. Produktivita výkonného honovania je veľmi vysoká. Nevýhodou tejto metódy je jej finančná nákladnosť.

Podľa pracovného nástroja poznáme dva druhy honovania:

- honovanie nástrojom s vonkajším ozubením
- honovanie nástrojom s vnútorným ozubením



Obr. 2.26 a. vonkajšie ozubenie nástroja [11]  
b. vnútorné ozubenie nástroja

Možnosti dokončovania ozubení honovaním pri ktorom má nástroj tvar ozubeného kola s vonkajším ozubením sú realizované prostredníctvom riadenej rotácie, pri ktorej je obrobok poháňaný a nástroj je brzdený.



Metóda honovania nástrojom s vnútorným ozubením bola vyvinutá v roku 1975 a bola pomenovaná po svojom pôvodcovi- Fässler.

Z hľadiska riadenia procesu je možné honovanie rozdeliť na pozdĺžne a ponorné. Pri ponornom honovaní koná nástroj samostatne radiálny prísuvný pohyb a boky ozubeného kola sú vytvárané priamkovým kontaktom. Výmena otáčavého pohybu nie je nutná, je však nutné použiť špeciálne korigovaný honovací prsteň. Pri pozdĺžnom honovaní je radiálny posunový pohyb prekrytý axiálnym kmitavým pohybom. Obrobok sa pritom pohybuje o rotujúcom nástroji sem a tam rovnobežne so svojou osou otáčania, čo má za následok bodový kontakt medzi obidvomi bokmi zubov. V porovnaní s ponorným honovaním je pozdĺžnym honovaním dosiahnuté lepšej kvality povrchu obrábaných zubov. [12]

### 2.4.2 Honovací nástroj

Nástroj špeciálne vyvinutý pre túto operáciu má tvar spoluzaberajúceho ozubeného kolesa, ktoré je vyrobené z oceli a na povrchu má tenkú vrstvu diamantového brusiva alebo zmes plastu a brusiva. Nástroj má geometricky nedefinované ostrie. Je vyvinutý tak, aby spĺňal požiadavky držania profilu, kvality, trvanlivosti, výkonu obrábania a opakovateľnosti. Honovacia nástroje môžu byť *orovnávatel'né* a *neorovnávatel'né*.

#### Orovnávatel'né nástroje

Pre označenie orovnávacieho honovacieho nástroja sa presadil pojem honovací krúžok alebo prsteň. Sú dodávané v stave, v ktorom sa nedajú hneď používať. Preto musia byť tieto nástroje pred použitím upravené nejakým orovnávacím nástrojom. Toto orovnávanie je nutné pri používaní po určitom časovom intervale opakovať. Orovnávanie sa realizuje v dvoch stupňoch. Najskôr je orovnávaný hlavový respektíve vnútorný priemer honovacieho krúžku diamantovou orovnávacou kladkou – hlavovým orovnávačom. Potom sú profilované boky zubov honovacieho prstenca diamantovým orovnávacím ozubeným kolom. Podľa objemového podielu jednotlivých komponentov, materiál zrn, pojivo, pórovitosť, je charakterizované jeho zloženie. Práve toto zloženie následne určuje jeho ďalšie vlastnosti medzi ktoré patrí tvrdosť, tuhosť a odolnosť proti opotrebovaniu.

Ako zrno je používaný umelý alebo slinovaný korund, ktorý je uložený v pojive z umelej živice alebo v keramickom pojive. [12]

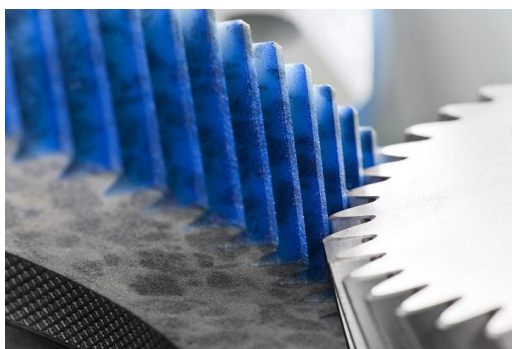
#### Neorovnávatel'né obrábacie nástroje

U neorovnávatel'ných nástrojov musí základné teleso obsahovať všetky požadované modifikácie zubových bokov. Základné teleso je vo väčšine prípadov vyrobené z oceli, na ktoré sa vďaka galvanickému spojeniu nanášajú rovnomerné jednivrstvé povlaky z materiálu CBN (kubický nitrid bóru) alebo syntetického diamantu.



Medzi výhody neorovnávatelných obrábacích nástrojov patrí vynechanie cyklu orovnávania a vysoké výkony obrábanie pri súčasne dobrej kvalite ozubení. Má to aj finančné výhody pretože odpadávajú náklady na orovnávací nástroj a na orovnávanie. Obrábanie prebieha po celú dobu používania nástroja za rovnakých podmienok a preto môžeme očakávať konštantné výsledky.

Nevýhodou ale je zvýšená drsnosť povrchu obrábaných bokov zubov kola. Toto často vyžaduje dvojstupňový proces pri ktorom je nutné po hrubovacej operácii zaradiť operáciu dokončovaciu ktorá zlepší povrch obrábaného kola. Nevýhodou je aj to, že môžu byť použité len pri jednej modifikácii zubov, preto môžu byť hospodárne použité len pri sériovej výrobe. Problémom je aj to, že lom alebo poškodenie nástroja sú veľmi finančne náročné poruchy.



Obr. 2.27 Honovací nástroj s vonkajším ozubením [8]



Obr. 2.28 Honovací nástroj s vnútorným ozubením [13]

### Orovnávacie nástroje

Na zladení parametrov honovacieho nástroja a diamantového orovnávacieho nástroja je vo veľkej miere závislý výsledok, kvalita a spoľahlivosť celej dokončovacej operácie. V opačnom prípade je celý výsledok práce neistý a často ovplyvnený neopakovateľným opotrebením. Následkom je menší úber materiálu a horšia kvalita ozubení, čo vedie k predčasnému výpadku v nasadení honovacieho krúžku. Zlepšenie presnosti profilu a účinku orovnania, väčšia trvanlivosť a zníženie nákladov na obrábanie sú požiadavky kladené na diamantové orovnávacie ozubené kolo.



Obr. 2.29 Diamantové orovnávacie ozubené kolesá [14]

Tvar zubu orovnávacieho kola má modelový charakter. Jeho geometria sa počas orovnávanía zubového boku premieta na obrábací nástroj a behom následného obrábania sa prenáša na obrábané ozubené kolo. Všetky profilové modifikácie obrobku sú už z pravidla na diamantovom orovnávacom ozubenom kole. Veľkosť diamantových zŕn má tiež vplyv na kvalitu a je závislá na veľkosti zŕn a tvrdošti použitého obrábacieho nástroja. Orovnávacie kolesá môžu byť rozdelené podľa spôsobu nanášania diamantu na základné teleso na orovnávacie kolo s galvanicky pozitívne alebo negatívne naneseným povlakom.

### 2.4.3 Honovacie stroje

#### „Spheric honing“ na strojoch firmy Gleason-HURTH

Od začiatku deväťdesiatych rokov sa začali výrobcovia ozubárenskej techniky zaoberať tzv. výkonným honovaním. Rozdielny prístup k tejto technológii každého z výrobcov mal za následok vyvinutie rôznych metód. Tieto metódy sa od seba odlišujú najmä koncepciou a kinematikou strojov, riadením procesu a použitými nástrojmi.

Stroj Gleason-HURTH ZH 250 je určený pre obrobky s vonkajším priemerom do 250mm a s odpovedajúcim dimenzovaním nástroja, honovací prstenec s priemerom 400mm, pohybových dráh, pohonov a upínacích prostriedkov. Konštrukcia stroja s kompaktným rámom obsahuje dve oddelené komory pre obrábanie a nakladanie obrobkov. Obrobok je tu z nastavenej polohy v nakladačom priestore premiestnený vretenom do pracovnej polohy. V pracovnej polohe dochádza k dodatočnému spevneniu koníkom. Počas obrábania sú vreteno i koník silovo spojené. Obojstranné upnutie obrobku a vystuženie vretena cez šikmé lože zaisťuje optimálne smerovanie síl pri obrábaní do lože stroja a zabraňuje tak nežiaducej deformácii stroja počas obrábania. Stroj ZH 250 je najvhodnejší na obrábanie veľkých kolies a hriadeľov.



Obr. 2.30 Honovací stroj Gleason-HURTH ZH 250 [15]

Pre ozubené kolesá do priemeru 150 mm bol vyvinutý stroj Gleason-HURTH 150 SPH. Jedná sa o vertikálnu konštrukciu stoja s menšími požiadavkami na priestor. Kinematika stroja je podobná ako u stroja ZH 250, s tým že vreteno obrobku a koník pri obrábaní nekonajú žiadny pohyb. Reakčné sily pri obrábaní účinkujú priamo do jednotlivých častí stroja. Pri obrábaní kotúčových dielov podpora dielca nie je nutná. Pri súčiastkach tvaru hriadeľov pracuje vreteno s oporným koníkom. Aj u tohto stroja dochádza k manipulácii s obrobkom prostredníctvom vretena z pozície nakladacej do pozície pracovnej. Podobne ako u stroja ZH 250 je aj u tohto stroja možné mnohostranné rozšírenie koncepcie nakladania a automatizácie. [12]



Obr. 2.31 Honovací stroj Gleason-HURTH 150 SPH [15]

**Výkonné honovanie na strojoch firmy Präwema**

Firma Präwema docielila novou koncepciou stroja a nástroja významné posunutie technológie honovania smerom k vyššej kvalite ozubení, kratšiemu času obrábania aj pri vyšších prídavkoch a redukcii nákladov na nástroj prepočítaných na jeden obrobok. Pre dosiahnutie vysokej kvality ozubení pri výkonnom honovaní bez ohľadu na predchádzajúci proces obrábania, je za potreby popri tuhom, stabilnom nástroji staticky a dynamicky mimoriadne tuhý stroj. Stroj firmy Präwema tieto požiadavky splňuje a rešpektuje tiež požiadavky na jednoduchú a spoľahlivú manipuláciu s obrobkom.

Rýchle CNC riadenie v troch osiach a lineárne motory pre posuv pozdĺžnych a priečnych saní patrí medzi ďalšie prednosti tohto stroja. Priamo poháňané a digitálne riadené vretená pre nástroj a obrobok tvoria hlavnú časť stroja. V spojení s vysokým výkonom pohonu 30 kW je možné dosiahnuť enormne presného a tuhého spojenia aj pri vyšších otáčkach. [12]



Obr. 2.32 Honovací stroj SynchronFine 205 H [16]

**Priame honovanie na strojoch Fässler**

Honovanie vytvorené Albertom Fässlerom bolo pôvodne používané po dokončovaní obrábání ševingovaním alebo brúsením. Myšlienka nahradiť tento postup samotným výkonným honovaním viedla k vyvinutiu metódy priameho honovania (Direct Honing) a k novým strojom.

Priame honovanie je možné aplikovať v štyroch oblastiach:

- jednostupňové honovanie jedným honovacím krúžkom
- kombinované honovanie
- univerzálne honovanie
- honovanie vnútorného ozubení

Najčastejší je prvý prípad s použitím jedného honovacieho nástroja. Používajú sa konvenčné, umelou živitou alebo keramicky pojené korundové duté nástroje. Rozšírené sú tiež kompozitné honovacie kamene.

Ak je za potreby odoberať viac ako 50  $\mu\text{m}$  na bok zuba, hovoríme obyčajne o výkonnom honovaní. Aby bolo možné hospodárne a spoľahlivo odoberať také prídavky, vyvinuli vo firme Fässler dvojstupňové honovanie ozubení tzv. kombinované honovanie. U tejto technológie sú použité dva honovacie prstene, ktoré umožňujú dvojstupňový proces hrubovania a dokončovania, alebo odrábanie dvoch ozubení na jednom obrobku. Metóda kombinovaného honovania je hospodárna najmä vtedy, ak je potrebné odobrať prídavok na bok zubu od 50 do 100  $\mu\text{m}$ .

Na honovacích strojoch firmy Fässler je možné honovať aj obrobky s vnútorným ozubením. V tomto prípade stačí vymeniť honovací kameň za obrobok a na miesto obrobku upne nástroj s vonkajším ozubením osadený diamantom.

Firma Fässler vyvinula honovací stroj na ozubenie s označením HMX-400, ktorý disponuje deviatimi osami, štyri z nich sú vybavené najmodernejšími, vysoko dynamickými pohonmi. Spojenie medzi obrobkom a nástrojom sa uskutočňuje elektronickým prevodom, ktorého tuhosť je nastaviteľná. [12]



Obr. 2.33 Honovací stroj Fässler HMX-400 [14]



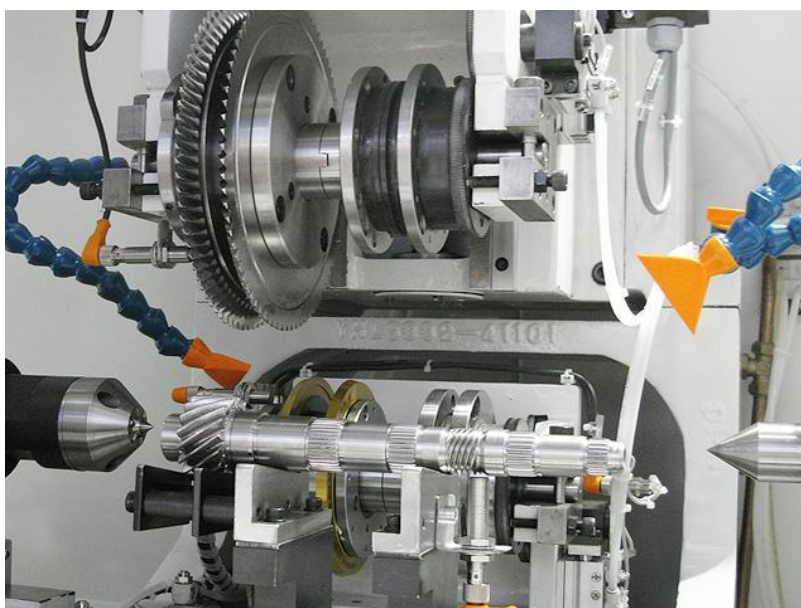
## 2.5 Zabehávanie ozubenia

Zabehávanie ozubenia je technológia veľmi podobná lapovaniu. U tohto spôsobu dokončovania je jedno ozubené koleso poháňané a druhé brzdené. Zabehávaním sa zlepšuje drsnosť povrchu zubov. Zabehávanie sa používa u tepelne upravených ozubených kolies. Zabehávajú sa ozubené kolesá ktoré nie je možné dokončovať iným spôsobom a väčšinou sa takto spárované ozubené kolesá spolu aj montujú.

## 2.6 Zaobl'ovanie čiel zubov

Kolesá prevodových skríň, ktoré sa musia presúvať, vyžadujú zaoblenie čiel zubov, aby sa uľahčilo zasúvanie do záberu. Zuby zaobl'ujeme frézovaním na špeciálnych strojoch. Ako nástroj obvykle slúži stopková fréza, ktorej veľkosť sa volí podľa veľkosti modulu obrábaného ozubeného kolesa.

Ďalšou metódou je použitie špeciálneho nástroja pre rotačné zrážanie hrá a odstraňovanie ostrín.



Obr 2.34 Stroj firmy Samputensili [14]

### 3 CHLADIACE A MAZACIE SYSTÉMY

Úlohou chladienia a mazania je vo všeobecnosti minimalizácia a odvod množstva tepla, ktoré vniká medzi obrobkom a nástrojom pri procese obrábania. Aby mohla chladiaca kvapalina správne plniť svoju úlohu, je ju treba nejakým spôsobom priviesť do miesta obrábania. Pri brúsení bokov zubov na výber niekoľko variant chladiacich systémov a trysiek. Medzi najpoužívanejšie patria trysky s voľným paprskom, ktoré privádzajú chladiacu kvapalinu v smere tečnom k brúsiacemu kotúču v mieste rezu. Vďaka bohatému zaplaveniu sú tieto systémy vhodné pre rôzne geometrie ozubenia. Správny tvar trysky môže významne prispieť k redukcii množstva privádzanej tekutiny. Je však nutné aby bol tvar trysky prispôsobený tvaru brúsiaceho kotúča ale aj ozubenému kolesu. Výstup trysky je nutné umiestniť čo najbližšie k miestu obrábania aby nedochádzalo k odstriedkaniu chladiacej kvapaliny z miesta rezu z dôvodu odstredivých síl, ktoré vznikajú pri otáčaní brúsneho kotúča.

### 4 KONTROLA OZUBENIA

Ozubené kolesá patria k najdôležitejším strojným súčastiam. Pretože sa používa čoraz viac rýchlobežných a vysokovýkonných strojov, ktoré musia mať veľkú účinnosť a tichý chod, kladú sa na ozubené kolesá stále väčšie požiadavky na presnosť. Požiadavky kladené na ozubené kolesá závisia na podmienkach a účele ich použitia. Ozubené kolesá majú rôzne tvary a preto je nutné používať aj rôzne druhy meraní jednotlivých veličín.

Z hľadiska správneho a bezhlučného záberu a prenosu krútiaceho momentu musia spoluzaberajúce ozubené kolesá splňovať nasledovné podmienky:

- Presnosť a správnosť hrúbky zubu
- Správnosť a presnosť tvaru zubu a kvality povrchu zubu
- Minimálne hádzanie
- Vŕtanie náboja a stred roztečnej kružnice musia byť totožné

Ku každému stupňu presnosti ozubených kolies existujú tri skupiny odchýliek, ktoré určujú základné vlastnosti daných ozubených kolies a súkolesí.

Prvou z nich je kinematická presnosť, ktorá v sebe obsahuje chyby spôsobujúce nerovnomerné otáčanie kolies. Do tejto skupiny patrí odchýlka obvodového hádzania ozubenia, odchýlka dvojbokého odvalu za otáčku a odchýlka kolísania rozmeru cez zuby.

Ďalšou skupinou je plynulosť chodu, obsahujúca odchýlku profilu zubu, odchýlku dvojbokého odvalu za rozteč a odchýlku základnej rozteče.

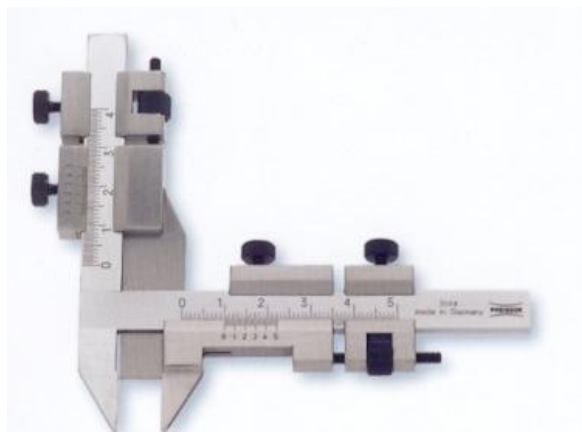
Poslednú skupinu tvorí tzv. dotyk zubu, ktorý je dôležitý predovšetkým z hľadiska prenosu sily. Sem patrí odchýlka sklonu zubu a pásma dotyku zubu.

Medzi ďalšie tolerancie a odchýliek patrí bočná vôľa zahrnujúca zaručenú bočnú vôľu, odchýlka vzdialenosti ôs, tolerancia doplnkového posunutia základného profilu, tolerancia rozmeru cez zuby. [23]

#### 4.1 Základné spôsoby merania ozubení

##### 4.1.1 Meranie hrúbky zubu v konštantnej výške

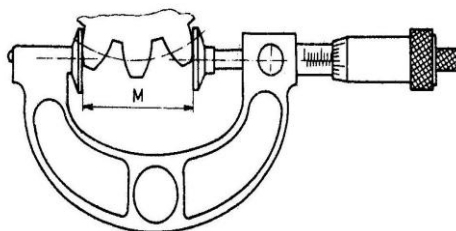
Hrúbka zubu sa meria v konštantnej výške od hlavovej kružnice a odpovedá teoretickej polohe základného profilu. Na toto meranie sa používa zubomer. Zubomer pripomína posuvné meradlo, ale v skutočnosti sú to posuvné meradlá dve, ktoré sú usporiadané kolmo na seba. Týmto meradlom je potreba zisťovať hrúbku zuba v dopredu učenej hĺbke. Preto sa táto hĺbka najskôr nastaví na zvislej stupnici a zaistí skrutkou a až následne sa meria hrúbka zuba.



Obr. 4.1. Zubomer od firmy Preisser [20]

##### 4.1.2 Kontrola miery cez zuby

Kontrola evolventného ozubení meraním rozmeru cez niekoľko zubov, najmenej však cez dva, je najrozšírenejším spôsobom merania ozubených kolies k priamemu stanoveniu bočnej vôľe. Toto meranie sa uskutočňuje posuvným meradlom, mikrometrom s tanierovými dotykmi, tolerančným kalibrom alebo špeciálnymi meradlami.



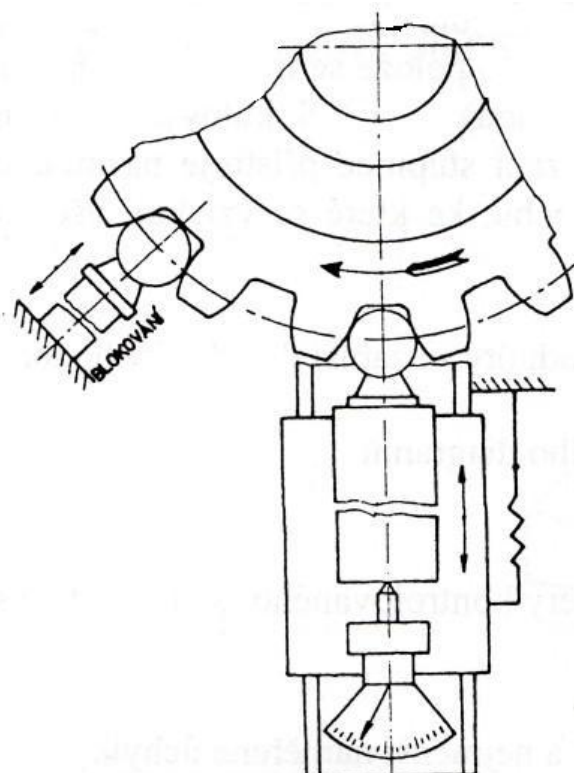
Obr. 4.2 mikrometer s tanierovými dotykmi [21]



Rozmer cez zuby nie je ovplyvnený odchýlkou priemeru hlavovej kružnice ani radiálnym hádzaním ozubenía, ovplyvňuje ho však odchýlka chyby delenia a preto je nutné kontrolovať viacej hodnôt na obvode a určiť priemernú hodnotu. [26]

#### 4.1.3 Kontrola obvodového hádzania

Kontrola obvodového hádzania je v podstate kontrolou súososti, to znamená polohy roztečnej kružnice vzhľadom k ose. Obvodové hádzanie sa prejaví počas chodu ozubenía periodickou zmenou veľkosti a smeru osovej vzdialenosti súkolesia. Hádzanie sa prejavuje aj vyššou hlučnosťou ozubenía. Najčastejšou príčinou obvodového hádzania je špatné upnutie ozubeného kolesa pri výrobe. Najčastejšie meranie obvodového hádzania sa uskutočňuje guľovým dotyk, kde styk guľôčky má byť blízko roztečnej kružnice. Priemer guľôčky je označený číslom a odpovedá približne modulu meraného kolesa. Základná poloha meraného kolesa sa zaisťuje pevnou zarážkou s guľovým dotyk, ktorý má rovnaký priemer ako merací dotyk. [26]



Obr. 4.3 Princíp merania hádzania na zubomere ZEISS [21]

## ZÁVER

Táto bakalárska práca pojednáva o dokončovacích metódach ozubenia. Dokončovanie ozubenia je veľmi dôležitou súčasťou výroby ozubených kolies. V dnešnej dobe poznáme viacej spôsobov dokončovania, ktoré sa od seba odlišujú vo viacerých vlastnostiach. Nasadenie jednotlivých dokončovacích metód v praxi je závislé hlavne na požiadavkách na presnosť, životnosť a konečné použitie a montáž ozubeného kolesa. Veľkú úlohu tu zohráva aj strojová vybavenosť podniku a sériovosť výroby.

Škála strojov a nástrojov je v súčasnosti veľmi široká. Niektoré druhy strojov a nástrojov sú opísané aj v tejto bakalárskej práci.

Ševingovanie sa používa pri hromadnej výrobe na dokončovanie ozubených kolies s rovnými a šikmými zubami pred tepelným spracovaním. Ševingovaním sa dokončuje presný evolventný profil zubov a zlepšuje sa kvalita povrchu bokov zubov. Presnosť ševingovania podľa triedy presnosti ČSN-ISO je bežne 6-7, pri presnej výrobe so zvýšenými nákladmi 5. Pri bežnom ševingovaní môžeme dosiahnuť drsnosť povrchu Ra 0,8-1,6, pri menších modulloch a presnom štandardnom opracovaní Ra 0,4-0,8.

Brúsenie je najspoľahlivejším spôsobom dokončovania, ktorým je možné dosiahnuť vysokú presnosť kalených ozubených kolies štandardne podľa triedy presnosti ČSN-ISO 5-7, pri presnej výrobe s vyššími nákladmi až 1-4. Drsnosť brúsením môžeme dosiahnuť už od Ra 0,2. Brúsenie je presnejšie ako ševingovanie, je to ale podmienené 4 až 10 krát vyššími výrobnými nákladmi. Presnosť brúsenia je veľmi závislá aj na presnosti predchádzajúceho obrábania. Brúsiacich metód je v dnešnej dobe na výber viacej, preto výsledok brúsenia závisí aj na tom akú metódu zvolíme.

Kontinuálne brúsenie - trieda presnosti podľa ČSN-ISO je 4-7

Deliacim spôsobom - trieda presnosti podľa ČSN-ISO je 1-5

Deliacim spôsobom s odvalom - trieda presnosti podľa ČSN-ISO je 2-4

Honovanie je spôsob dokončovania kalených ozubených kolies, ktoré sú ešte pred tepelným spracovaním ševingované alebo frézované. Honovaním dosahujeme presnosť podľa triedy ČSN-ISO 5-6.

Lapovanie sa používa hlavne na dokončovanie kužeľových ozubených kolies so zakrivenými zubami. Lapovaním je možné dosiahnuť vysokej kvality povrchu, vyššej ako pri brúsení, a to až presnosť prvej triedy. Pri lapovaní je ale treba brať do úvahy fakt, že tento technologický spôsob dokončovania ozubených kolies neodstráni veľké nepresnosti ozubenia, ani značné poškodenia bokov zubov. Z tohto dôvodu musia byť ozubené kolesá určené na lapovanie vyrábané čo najpresnejšie.

Vysoké využitie ozubenia v strojárskych praxi nám predznamenáva, že rozvoj technológií na výrobu a dokončovanie ozubených kolies sa tak skoro nezastaví a bude ďalej napredovať. Všetci výrobcovia ozubárenskej techniky sa budú aj naďalej snažiť v rámci konkurenčného boja vyvíjať stroje ktoré

budú skracovať čas potrebný na opracovanie jedného obrobku a tým pádom znižovať náklady na výrobu. Ďalej stroje, ktoré budú univerzálne a použiteľné pre viacero spôsobov dokončovania. Vyvíjať nástroje ktoré budú trvácnejšie a budú nám ponúkať možnosť presnejšej výroby ako doteraz.

**ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

1. Boháček, F. a kol.: Části a mechanismy strojů 3 – Převody. Brno, VUT Brno 1987. 2. vyd. 267 s.
2. Moravec, V.: Konstrukce strojů a zařízení 2 – Čelní ozubená kola. Ostrava, Montanex a.s. 2001. 291 s. ISBN 80-7225-051-5
3. Humár, A.: Technologie 1. – 2. Část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. Dostupné z WWW: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
4. Výroba ozubení [online]. [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: <[strojarstvo.depi.sk/predmety/maturity/stt/11-vyroba-ozubenia.doc](http://strojarstvo.depi.sk/predmety/maturity/stt/11-vyroba-ozubenia.doc)>.
5. Stroje na výrobu ozubení. Študijný materiál. Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <[www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15\\_Stroje\\_na\\_Vyrobu\\_Ozubenia.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15_Stroje_na_Vyrobu_Ozubenia.pdf)>.
6. Varchola M., Madáč K.: OBRÁBACIE STROJE. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <[http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/2/files/OS\\_UP\\_2004.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/2/files/OS_UP_2004.pdf)>.
7. Reishauer. Gear grinding technology. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <[http://www.reishauer.com/2008-06-25\\_reishauer\\_com/machines\\_showroom\\_rz\\_1000\\_en,1318.html](http://www.reishauer.com/2008-06-25_reishauer_com/machines_showroom_rz_1000_en,1318.html)>.
8. Sicmat. Výrobca ozubárenskej techniky. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <<http://www.sicmat.com/web/guest/raso400>>.
9. Ford's PowerShift dual-clutch gearbox. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <<http://www.zcars.com.au/ford-powershift-gearbox/>>.
10. Samputensili. Výrobca ozubárenskej techniky. [online] [cit. 2011-04-24] Dostupné z WWW: <<http://www.samputensili.com/machines/12990.html>>.
11. Gear Honing Technologi. Hermes. [online] [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.hermesabrasives.com/ti-us-54.pdf>>.
12. MRKVICA, I.: Speciální technologie – Výroba ozubených kol II. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 1. vydání, 2009, 118 s. ISBN 978-80-248-2134-4.
13. Tyrolit. Výroba brusných kotúčův. [online] [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.tyrex.eu/page.cfm?vpath=divisions/prec machining/mirahoningrings>>.
14. Fässler. Stroje na výrobu ozubení. [online] [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <[http://www.faessler-usa.com/en/products\\_tools.php](http://www.faessler-usa.com/en/products_tools.php)>.

15. Gleason. Stroje na výrobu ozubení. [online] [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.gleason.com/products/105/98/150sph>>.
16. Präwema. Stroje na výrobu ozubení. [online] [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://praewema.dvs-gruppe.com>>.
17. Drevené ozubené súkolie. [online] [cit. 2011-05-02] Dostupné z WWW: <[http://www.flickr.com/photos/magic\\_rainer/3485663368/](http://www.flickr.com/photos/magic_rainer/3485663368/)>.
18. Píška a kol.: Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 252 s. ISBN 978-80-241-4025-8
19. MRKVICA, I. Speciální technologie – Výroba ozubených kol I. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 1. vydání, 2009, 101 s. ISBN 978-80-248-1931-0.
20. Mikra. Meracie prístroje. [online] [cit. 2011-05-02] Dostupné z WWW: <<http://www.mikra-ub.cz/produkty-detaily.php?id=1851&kategorie=8&znacka=>>>.
21. Čech, J. Pernikář, J. Podaný, K.: Strojírenská metrologie. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2.
22. Ozubené převody. Distanční text [online] [cit. 2011-04-12] Dostupné z WWW: <[http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/ozubene\\_prevody.pdf](http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/ozubene_prevody.pdf)>.
23. KlingelInberg GmbH. Výrobca ozubárenskej techniky [online] [cit. 2011-04-12] Dostupné z WWW: <<http://www.klingelInberg.com/>>.

**ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CBN	-	Kubický nitrid bóru
CNC	-	Počítačové číslicové riadenie
ČSN	-	Česká štátna norma
H	mm	Dráha nástroja
ISO	-	Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
Ra	$\mu\text{m}$	Drsnosť povrchu
$m_n$	-	modul
$\alpha$	°	Uhol sklonu zubu
$\xi$	°	Diagonálny uhol
$\eta$	°	Uhol sráženia ôs

--

